

**Nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának vizsgálata
tenyészedény-kísérletben. II. Összefüggések a nyersfoszfát-féleségek
oldékonysága és a vörös here termése, valamint P-felvétele között**

OSZTOICS ERZSÉBET, CSATHÓ PÉTER, CSILLAG JULIANNA,
RADIMSZKY LÁSZLÓ, BACZÓ GÁBORNÉ, RAJKAINÉ VÉGH KRISZTINA,
TAKÁCS TÜNDE, MAGYAR MARIANNA és LUKÁCS ANDRÁS

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

A nyersfoszfátok savanyú talajokon közvetlenül kijuttatva megfelelő P-források lehetnek a termesztett növények P-szükségletének biztosítására. Agronómiai hatékonyságuk annak függvénye, hogy (a gyakorlatilag nem vízzoldható) P-tartalmukat milyen mértékben képes a növény felvenni, ill. hasznosítani. A nyersfoszfát agronómiai hatékonysága tehát egyaránt függ a nyersfoszfát és a talajkörnyezet tulajdonságaitól, valamint a növény tápanyagfelvételi sajátosságaitól.

A nyersfoszfátok azon tulajdonságait (fajlagos felület, szemcseméret és P-oldhatóság), amelyek alapvető szerepet játszanak P-tartalmuk növényi felvehetőségében a világ különböző helyeiről származó nyersfoszfátokon laboratóriumi körülmények között megvizsgáltuk és értékeltük. Ezekről az eredményekről előző közleményünkben (OSZTOICS et al., 2005) számoltunk be. Irodalmi tapasztalat alapján a nagy fajlagos felületű, jó oldékonyságú üledékes nyersfoszfátok alkalmasak közvetlen P-trágyázásra savanyú talajokon. A nyersfoszfátok között a laboratóriumi eredmények alapján már fel lehetett állítani egy minőségi, alkalmassági sorrendet. Eredményeinket néhány nyersfoszfát esetében tenyészedény-kísérletben is igazolni kívántuk. A tenyészedény-kísérlet ugyanis alkalmazható laboratóriumi nyersfoszfát-oldhatósági tesztek ellenőrzésére, a különböző nyersfoszfátok minőségének összehasonlítására, továbbá azonos talajon a leghatékonyabb nyersfoszfát-féleség kiválasztására, vagy adott nyersfoszfát esetén a megfelelő talaj, ill. növény kiválasztására (CHIEN & HAMMOND, 1978; KUCEY & BOLE, 1984; MACKAY et al., 1984; RAJAN et al., 1992).

Felmerül a kérdés, hogy a nyersfoszfátokkal végzett tenyészedény-kísérletekben kapott eredmények mennyire hasonlíthatók össze a szabadföldi kísérletekben kapottakkal? Irodalmi tapasztalatok megerősítik a tenyészedény-kísérletek létjogosultságát (CHIEN & HAMMOND, 1978; KUCEY & BOLE, 1984; MACKAY et al., 1984; RAJAN et al., 1992). ENGELSTAD és munkatársai (1974), CHIEN és HAMMOND (1978), valamint RAJAN és munkatársai (1996) azonos talajon, azonos növényvel, azonos nyersfoszfátsorral végeztek tenyészedény- és szabadföldi kísérletet. Az

eredmények azt mutatták, hogy a tenyészedény-kísérletben leghatékonyabb nyers-foszfát-féleség bizonyult a legjobbnak a szabadföldön is. A nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának sorrendje is hasonló volt a kísérletekben.

Korábbi munkáinkban az algériai nyersfoszfát hatékonyságát vizsgáltuk különböző savanyú talajokon tenyészedény-kísérletben (OSZTOICS et al., 1997, 2001). Ebben a munkában két különböző fizikai féleségű, savanyú kémhatású talajon beállított tenyészedény-kísérletben különböző nyersfoszfátok – melyeket korábbi közleményünkben (OSZTOICS et al., 2005) részletesen ismertetett nyersfoszfátok közül választottunk ki – tulajdonságainak hatását vizsgáltuk a vörös here termésére, P-tartalmára és P-felvételére. Standard P-forrásként szuperfoszfátot alkalmaztunk. Külön kezelésben a szuperfoszfát mellett adagolt kalcium-karbonát hatását is tanulmányoztuk.

Anyag és módszer

Savanyú homoktalajjal (Nyírlugos) és savanyú agyagos vályogtalajjal (Ragály) (1. táblázat) beállított tenyészedény-kísérletben (1,6 kg talaj/edény) Algériából, Floridából, É-Karolinából, Szenegálból, Marokkóból és Tunéziából (Hyperfoszfát), származó nyersfoszfátot alkalmaztunk P-trágyaként.

A nyersfoszfátok összes P-tartalmát a minták 65% HNO_3 és 30% H_2O_2 elegyével történő roncsolása után ICP spektrometriás módszerrel mértük. A nyersfoszfátok P-tartalmának oldhatóságát (reaktivitását) hangyasavban (2 %-os hangyasav ol-

1. táblázat

A tenyészedény-kísérletben alkalmazott talajok fizikai és kémiai tulajdonságai

(1) Talajtulajdonság	(2) Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)	(3) Savanyú agyagos vályogtalaj (Ragály)
pH(H_2O)	5,01	5,74
pH(KCl)	3,83	4,53
a) agyag + iszap (<0,02mm), %	5,0	59,8
b) „Összes” P, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	300	480
Olsen-P, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	16,2	6,3
c) Vízoldható-P, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	8,5	3,1
d) Kationcsere kapacitás (T-érték), $\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$	3,0	19,6
e) Kicserélhető Ca, $\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$	0,8	11,6
e) Kicserélhető Mg, $\text{cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$	0,1	3,1
f) Hidrolitos savanyúság, %, (y_1)	11	17
g) Kicserélhető savanyúság (y_2)	3,7	0
h) humusz, %	0,6	3,4

Meghatározás módja: pH(H_2O) = 1:2,5 talaj: H_2O ; pH(KCl) = 1:2,5 talaj:1 M KCl; Összes-P (ICP): 65% HNO_3 +30% H_2O_2 -os roncsolás; Olsen-P: OLSEN et al. (1954); vízoldható-P: SARKADI (1982); Kicserélhető Ca, Mg és T-érték (ammónium acetátos módszer), y_1 , y_2 valamint humusz: BUZÁS (1988) alapján

oldat), citromsavban (2%-os citromsav oldat) és semleges ammónium-citrát oldatban mértük (MSz 7240-86; Official Journal of the European Communities, 1977). A nyersfoszfátok fajlagos felületét alacsony hőmérsékleten nitrogéngáz adszorpciós módszerrel határoztuk meg (GREGG & SING, 1982). A P-forrásokat őrölt formában, 160 μm -nál kisebb szemcseméretben adtuk a talajhoz, mivel irodalmi adatok szerint (KHASAWNEH & DOLL, 1978; HAMMOND et al., 1986) ezen méret alatt a nyersfoszfátrészecske nagysága az agronómiai hatékonyságot nem befolyásolja.

Összehasonlító standard vízdoldható P-trágyaként – a hazánkban forgalomban lévő, Ausztriából (Linz) származó – szuperfoszfátot (SSP) alkalmaztunk. A szuperfoszfát-kezelés mellett beállított szuperfoszfát+kalcium-karbonát kezeléshez a CaCO_3 mennyiségét a talajok kötöttsége és hidrolitos savanyúsága (y_1) alapján számítottuk (FILEP, 1999). Így a szuperfoszfát + kalcium-karbonát kezeléseket 1910, ill. 4960 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ kalcium-karbonátot adtunk a savanyú homoktalajhoz, ill. a savanyú agyagos vályogtalajhoz. A P-forrásokból a hatóanyag-azonosság elvén 0 (NK-kontroll), 100, 400 és 1600 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$ -t (összes P_2O_5 , cc. $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ oldható) adtunk három ismételtsben. Az NK-kontrollonál és a P-kezelésekben 100 mg kg^{-1} nitrogént és 200 mg kg^{-1} káliumot adtunk a talajokhoz. A kísérlet elrendezése split-plot volt. A vörös herét a P-trágyák bekeverését követő napon vetettük. A tenyészedényeket a kísérlet kezdetén naponta a szántóföldi vízkapacitás 60%-ára, majd a növények igényének megfelelően öntöztük. A vegetációs periódus 3 hónap volt. A vörös herét három alkalommal (30 naponként) vágtuk.

Eredmények és értékelésük

A tenyészedény-kísérletben alkalmazott nyersfoszfátok oldhatóságának laboratóriumi vizsgálata

Az alkalmazott nyersfoszfátok közül a legnagyobb összes P_2O_5 -tartalma a szenegáli nyersfoszfátnak (33,0%) volt, a legkisebb az észak-karolinainak (23,8%) (2. táblázat). A nyersfoszfátok összes P-tartalmával azonban nem jellemezhető agronómiai hatékonyságuk. Ez utóbbit a nyersfoszfát P-tartalmának oldékonysága, így a 2%-os hangyasavban, 2%-os citromsavban vagy semleges ammónium-citrátban való oldhatósága jelzi (KHASAWNEH & DOLL, 1978; BRAITHWAITE et al., 1990; RAJAN et al., 1992; CHIEN, 1993; WATKINSON, 1994). A vizsgált nyersfoszfátok oldhatóságát ezekben az oldatokban a 2. táblázat mutatja.

Látható, hogy a különböző kivonószerek eltérő P-mennyiségeket vonnak ki. A nyersfoszfátok kémiai reaktivitásának összehasonlításánál az oldott foszfor mennyiségét a nyersfoszfát egységnyi tömegére, vagy az egységnyi tömegű nyersfoszfát összes- P_2O_5 -tartalmára vonatkoztatják.

A vizsgált nyersfoszfátok oldhatósági sorrendje:

– a 2% -os citromsavban: é-karolinai > hyperfoszfát > algériai > marokkói > szenegáli > floridai

– a semleges ammónium-citrátban: algériai > é-karolinai \approx hyperfoszfát > marokkói > floridai > szenegáli

nem változik, akár a nyersfoszfát tömegére, akár P_2O_5 -tartalmára vonatkoztatjuk.

2. táblázat

A tenyészedény-kísérletben alkalmazott nyersfoszfátok (<160 µm) tulajdonságai és P-tartalmának oldhatósága

(1) A nyers- foszfát eredete	(2) Fajlagos felület, m ² ·g ⁻¹	CaCO ₃ %	(3) Ösz- szes P ₂ O ₅ , %	(4) P-oldhatóság, P ₂ O ₅ %					
				(5) 2%-os hangya- savban		(6) 2%-os cit- romsavban		(7) Semleges NH ₄ ⁺ -citrátban	
				A	B	A	B	A	B
Algéria	14,2	18,3	27,5	17,6	63,9	10,8	39,4	8,2	29,8
Florida	12,7	6,9	25,4	6,7	26,3	6,5	25,6	2,7	10,6
É-Karolina	20,0	12,8	23,8	17,9	75,2	11,6	48,9	5,1	21,4
Szenegál	5,7	4,3	33,0	9,5	28,8	8,6	26,0	2,5	7,6
Marokkó	12,0	14,4	26,1	15,2	58,2	9,7	37,3	3,1	11,9
Hyperfoszfát	15,4	13,3	22,5	14,7	65,2	10,9	48,3	5,0	22,2

Megjegyzés: A: egységnyi nyersfoszfát tömegre; B: egységnyi nyersfoszfáttömeg összes P₂O₅-tartalmára vonatkoztatva

– A 2%-os hangyasavban a nyersfoszfát tömegére vonatkoztatva: é-karolinai > algériai > marokkói > hyperfoszfát > szenegáli > floridai az oldhatósági sorrend, az egységnyi tömegű nyersfoszfát összes P₂O₅-tartalmára vonatkoztatva viszont a hyperfoszfát oldhatóságának növekedése miatt megváltozik az oldhatósági sorrend, s ekkor megegyezik a 2%-os citromsav oldhatósági sorrendjével (2. táblázat).

A vizsgált hat nyersfoszfát fajlagos felülete és az egységnyi nyersfoszfáttömegre (A) vonatkoztatott P-oldhatóságok között nem volt szoros összefüggés (0,27–0,41), de jobb korrelációt kaptunk, ha az oldott foszfort a nyersfoszfátok összes P₂O₅-tartalmára (B) vonatkoztatva vettük figyelembe (0,44–0,67) (3. táblázat). A nyersfoszfátok fajlagos felülete és P-tartalmának hangyasav, ill. citromsav oldható frakciója közötti gyenge összefüggés a floridai nyersfoszfát viselkedésére vezethető vissza, mivel fajlagos felületéhez képest igen gyenge ezekben a savakban az oldhatósága a többi nyersfoszfáthoz képest (2. táblázat). Ha a floridai nyersfoszfátot nem vonjuk be az összefüggésvizsgálatba, a további öt nyersfoszfátnál a hangyasav ese-

3. táblázat

A nyersfoszfátok fajlagos felülete és a különböző kivonószerekkel mért P₂O₅-tartalmak (I.), valamint a különböző kivonószerekkel mért P₂O₅-tartalmak közötti összefüggés (II.)

(1) Nyersfoszfát P ₂ O ₅ oldhatóság, %	r ²					
	I.		II.			
	(2) Fajlagos felület, m ² ·g ⁻¹		(3) 2%-os hangya- sav oldható		(4) 2%-os citromsav oldható	
	A	B	A	B	A	B
a) 2%-os hangyasav oldható	0,41	0,62				
b) 2%-os citromsav oldható	0,36	0,67	0,90	0,92		
c) semleges NH ₄ ⁺ -citrát oldható	0,27	0,44	0,54	0,59	0,46	0,52

Megjegyzés: A és B: lásd 2. táblázat

tén 0,41-ről 0,79-re ill. 0,62-ről 0,94-re, a citromsavnál pedig 0,36-ről 0,96-ra, ill. 0,67-ről 0,90-re nő az r^2 . A nyersfoszfátok P-tartalmának semleges ammónium-citrát oldható frakciója és a fajlagos felület közötti igen gyenge összefüggést (3. táblázat) pedig az algériai nyersfoszfátnak ebben a kivonószerben való igen jó oldhatósága okozza (2. táblázat). A nyersfoszfátok P-tartalmának semleges ammónium-citrát, valamint a 2%-os hangyasav és 2%-os citromsav oldható frakciója közötti gyenge korreláció ($r^2 \sim 0,5$) is az algériai nyersfoszfát fentebb említett oldhatósági viszonyaira vezethető vissza.

A különböző P-források és P-adagok hatása a vörös here termésére (az 1., 2. és 3. növedék összege)

A vörös here első növedékét külön is értékeltük korábbi munkánkban (OSZTOICS et al., 2006). A nyersfoszfátkezelésekben az első növedékhez hasonlóan a második és harmadik növedék esetén is a ragályi talajon kaptunk nagyobb szárazanyag-hozamot (a kísérlet átlagában Ragály: 1., 2. és 3. növedék: 5,70, 4,80 és 3,76 g·edény⁻¹ és Nyírlugos: 1., 2. és 3. növedék: 3,50, 2,03 és 1,52 g·edény⁻¹). Így a vörös here összes termése a nyersfoszfát-féleségek és a P-adagok átlagában több mint kétszerese volt a kolloidban gazdag ragályi agyagos vályogtalajon (14,26 g·edény⁻¹), mint a kolloidban szegény nyírlugosi homoktalajon (7,04 g·edény⁻¹) (4. táblázat).

A nyersfoszfát-féleségek átlagában a legnagyobb P-adag (1600 mg P₂O₅·kg⁻¹) hatására az NK-kontrollhoz viszonyítva a savanyú homoktalajon 1,97-szeres, míg a savanyú agyagos vályogtalajon 3,17-szeres termésnövekedés volt.

A P-adagok átlagában a nyersfoszfátok között a savanyú homoktalajon a jól oldódó algériai és é-karolinai nyersfoszfát adta a legnagyobb vöröshere-termést (8,70 és 8,04 g·edény⁻¹). Ennél szignifikánsan kisebb, de közel azonos átlagtermést (6,93, 6,75 és 7,00 g·edény⁻¹) kaptunk a floridai, marokkói nyersfoszfát és a hyperfoszfát hatására. A savanyú agyagos vályogtalajon szintén az algériai és az é-karolinai nyersfoszfát bizonyult a leghatásosabbnak (16,95 és 15,62 g·edény⁻¹). Jó termést kaptunk még a marokkói nyersfoszfát és a hyperfoszfát esetén is, de hatásuk szignifikánsan kisebb volt az algériai nyersfoszfáténál. A legkisebb termést mindkét talajon (4,84, ill. 10,49 g·edény⁻¹) a legkevésbé oldódó, legkisebb fajlagos felületű és CaCO₃-tartalmú szenegáli nyersfoszfátkezelésekben kaptuk.

A két vizsgált talajon a P-források és adagjaik hatását a vörös here termésére részletesen a 4. táblázat és az 1A. és 1C. ábra mutatja. A nyírlugosi talajon a 100 mg P₂O₅·kg⁻¹ nyersfoszfátadag hatására az NK-kontrollhoz viszonyítva az algériai és é-karolinai nyersfoszfát és a hyperfoszfát növelte tovább szignifikánsan a vörös here termését. Sőt a reaktív algériai és é-karolinai nyersfoszfát 100–400–1600 mg P₂O₅·kg⁻¹ adagja egymáshoz viszonyítva is szignifikánsan növelte a termést. A legkevésbé reaktív szenegáli nyersfoszfátkezelésekben viszont csak a legnagyobb, adag (1600 mg P₂O₅·kg⁻¹) növelte szignifikánsan a termést az NK-kontrollhoz képest. A ragályi talajon ugyanakkor a nyersfoszfátok 100 mg P₂O₅·kg⁻¹ adagja – a szenegáli nyersfoszfát kivételével – szignifikánsan növelte a vörös here termését az NK-kontrollhoz viszonyítva. A nyersfoszfátok 400 mg P₂O₅·kg⁻¹ adagja az előző

4. táblázat

A P-források és adagok hatása a vörös here termésére a tenyészedény-kísérletben alkalmazott savanyú homok- (Nyírlugos) és savanyú agyagos vályogtalajon (Ragály), g·edény⁻¹

(1) P-adag, összes P ₂ O ₅ , mg·kg ⁻¹	(2) P-forrás											
	(3) Nyersfoszfát						(4) SzD _{5%}	(5) Nyers-foszfát átlag	(6) Szuperfoszfát (SSP)	(7) SSP+kalcium- karbonát	(8) SzD _{5%}	(9) P-forrás átlag
	algériai	floridai	észak-karolinai	senegáli	marokkói	Hyperfoszfát						
Nyírlugosi talaj, Σ1.+2.+3. növedék												
NK	5,31	4,37	5,15	3,96	5,12	4,85	1,51	4,79	4,04	8,11	1,75	5,11
100	7,71	4,87	7,39	3,92	5,34	6,49		5,95	7,05	11,28		6,76
400	9,26	8,99	8,91	4,39	7,76	8,47		7,96	7,42	11,20		8,30
1600	12,50	9,48	10,71	7,09	8,80	8,20		9,46	6,49	7,79		8,88
SzD _{5%}				1,51				0,62		1,75		0,62
átlag	8,70	6,93	8,04	4,84	6,75	7,00	0,76	7,04	6,25	9,59		7,26
Ragályi talaj, Σ1.+2.+3. növedék												
NK	6,70	6,33	6,26	6,06	7,01	6,44	2,87	6,47	6,55	10,65	2,75	7,00
100	14,27	11,59	14,70	8,41	13,93	14,82		12,95	17,78	18,86		14,26
400	21,69	15,13	20,32	11,45	16,18	18,20		17,16	23,88	26,85		19,21
1600	25,12	17,87	21,19	16,06	21,50	20,96		20,45	22,29	25,70		21,34
SzD _{5%}				2,87				1,17		2,75		0,97
átlag	16,95	12,73	15,62	10,49	14,66	15,10	1,44	14,26	17,55	20,52	1,37	15,45

P₂O₅-adaghoz viszonyítva is szignifikánsan növelte a termést (a marokkói nyersfoszfát kivételével). Az algériai és é-karolinai nyersfoszfát alkalmazásakor ez a P₂O₅-adag 20 g feletti terméseket eredményezett, melyet a kevésbé reaktív marokkói nyersfoszfát és hyperfoszfát csak az 1600 mg P₂O₅·kg⁻¹ adag hatására ért el, a floridai és senegáli pedig még ezen a szinten is csak 18, ill. 16 g-ot.

A meszezés (CaCO₃ kijuttatása) önmagában a vörös here termését a nyírlugosi talajon 73%-kal, a ragályi talajon 63%-kal növelte a meszezetlen NK-kezelések (nyersfoszfátok+SSP) átlagterméséhez képest. A szuperfoszfát mellett adagolt kalcium-karbonát az azonos P-adagú szuperfoszfát-kezeléshez viszonyítva is éreztette ezt a kedvező hatását a termésre, bár a szuperfoszfátadag növelésével ez a hatás csökkent (4. táblázat).

A bázikus nyersfoszfátokkal összevetve a standardként alkalmazott savanyító hatású szuperfoszfát a P-adagok átlagában a kis pufferekapacitású savanyú homoktalajon csak a senegáli nyersfoszfáthoz képest adott jobb termést, míg a szuperfoszfát + kalcium-karbonát kezelés a P-formák közül a legnagyobb termést eredményezte (4. táblázat). A nagy pufferekapacitású, kevésbé savanyú agyagos vályogtalajon viszont a szuperfoszfát és a szuperfoszfát + kalcium-karbonát kezelés is na-

gyobb termést adott a nyersfoszfátkezeléseknél. A szuperfoszfát és a szuperfoszfát + kalcium-karbonát kezelés 100 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ adagja a nyersfoszfátokhoz hasonlóan mindkét talajon szignifikánsan növelte a termést az NK-kontrollhoz képest. A P-adag további növelése a nyírlugosi talajon nem volt hatással a termésre, a ragályi talajon viszont szignifikánsan tovább növelte azt. A szuperfoszfát és a szuperfoszfát + kalcium-karbonát kezelések legnagyobb adagja (1600 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$) hatására a 400 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ adaghoz képest mindkét talajon csökkent a termés.

Korábbi munkáinkban azt tapasztaltuk (OSZTOICS et al., 1997, 2001; NÉMETH et al., 2002), hogy az erősen savanyú talajokon az algériai nyersfoszfát a szuperfoszfáttal azonos hatékonyságú volt. Az é-karolinai nyersfoszfátot tenyészedény-kísérletben LÉON és munkatársai (1986), valamint ZAHARAH és SHARIFUDDIN (2002) más nyersfoszfátokkal, így többek között a kísérletünkben is szereplő marokkói és floridai nyersfoszfáttal is összehasonlították. Eredményeinkhez hasonlóan a leghatékonyabbnak az észak-karolinai nyersfoszfát bizonyult, a marokkói és floridai nyersfoszfát pedig közepes hatékonyságot mutatott.

A nyersfoszfát-féleségek és a P-adagok hatása a vörös here P-tartalmára

A nyírlugosi talajon minden P-kezelésben, mindhárom növedék esetén a vörös here P-tartalma nagyobb volt, mint a ragályi talajon (5. és 6. táblázat). A P-adagok átlagában mindkét talajon, mindhárom növedék esetén a szenegáli nyersfoszfát alkalmazásakor mértük a legkisebb, a szuperfoszfát-adagolásnál a legnagyobb P-tartalmat. A P-adagok növelésével a nyersfoszfát- és a szuperfoszfát-kezelésekben a növények P-tartalma közötti különbség nőtt, sőt az 1600 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ adag esetén a szuperfoszfát-kezelésben kb. kétszerese volt a nyersfoszfátkezelésekének mindkét talajon, minden vágásban.

A nyírlugosi talajon mind az NK-kontroll, mind a P-kezelések növényeinek P-tartalma növekedett a vágásokkal (5. táblázat). A vörös here három vágásának P-tartalma között a nyersfoszfát-féleségek és -adagok átlagában ez a növekedés szignifikáns volt ($SzD_{5\%} = 0,009$), a szuperfoszfát- és szuperfoszfát + kalcium-karbonát kezelésekben viszont az adagok átlagában csak az első vágáshoz viszonyítva volt szignifikáns a növekedés ($SzD_{5\%} = 0,067$, ill. $0,034$).

A ragályi talajon csak a hat nyersfoszfát és adagaik átlagában volt szignifikáns növekedés a vágások P-tartalma között ($SzD_{5\%} = 0,005$).

A P-formák és a P-adagok hatása a vörös here P-felvételére (az 1., 2. és 3. növedék összege)

A nyersfoszfátkezelésekben a kísérlet átlagában a vörös here P-felvétele a kolloidban gazdag agyagos vályogtalajon 20%-kal volt nagyobb, mint a kolloidban szegény nyírlugosi homoktalajon (7. táblázat). A P-felvétel a nyersfoszfát-féleségek átlagában a legnagyobb P-adag (1600 mg $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$) hatására az NK-kontrollhoz viszonyítva a savanyú homoktalajon 5,2-szeres, míg a savanyú agyagos vályogtalajon 8,3-szoros volt.

5. táblázat

A P-források és -adagok hatása a vörös here 1., 2. és 3. növedékének P-tartalmára (P%) a nyírlugosi talajjal beállított tenyészedény-kísérletben

(1) P-adag, összes P ₂ O ₅ , mg·kg ⁻¹	(2) P-forrás											
	(3) Nyersfoszfát						(4) SzD _{5%}	(5) Nyers-foszfát átlag	(6) Szuperfoszfát (SSP)	(7) SSP+kalcium- karbonát	(4) SzD _{5%}	(8) P-forrás átlag
	algériai	floridai	észak-karolinai	senegáli	marokkói	Hyperfoszfát						
1. növedék												
NK	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,03	0,15	0,14	0,14	0,05	0,14
100	0,25	0,20	0,25	0,18	0,20	0,22		0,22	0,30	0,23		0,23
400	0,37	0,27	0,35	0,22	0,30	0,32		0,31	0,62	0,40		0,36
1600	0,46	0,37	0,48	0,29	0,41	0,34		0,39	0,97	0,93		0,53
SzD _{5%}	0,03							0,01		0,05		0,02
átlag	0,31	0,25	0,31	0,21	0,26	0,26	0,01	0,26	0,51	0,42		0,31
2. növedék												
NK	0,22	0,22	0,22	0,21	0,20	0,20	0,05	0,21	0,22	0,24	0,07	0,22
100	0,33	0,23	0,38	0,19	0,28	0,30		0,29	0,39	0,33		0,30
400	0,74	0,40	0,91	0,25	0,55	0,55		0,57	1,28*	0,89		0,69
1600	0,67	0,91	0,98	0,33	0,80	0,25		0,66	1,25*	1,37*		0,82
SzD _{5%}	0,05							0,02		0,07		0,02
átlag	0,49	0,44	0,62	0,24	0,46	0,33	0,02	0,43	0,79	0,71	0,04	0,51
3. növedék												
NK	0,29	0,30	0,31	0,27	0,33	0,26	0,06	0,29	0,30	0,34	0,08	0,30
100	0,51	0,33	0,45	0,33	0,48	0,43		0,42	0,50	0,38		0,43
400	0,81	0,52	0,91	0,33	0,79	0,63		0,67	1,19*	0,81		0,75
1600	0,69	0,93	0,94	0,52	0,93	0,40		0,73	1,35*	1,18*		0,87
SzD _{5%}	0,06							0,02		0,08		0,03
átlag	0,57	0,52	0,65	0,36	0,63	0,43	0,03	0,53	0,83	0,68	0,04	0,59

Megjegyzés: *A vörös herével azonos P-kezelésekkel beállított tenyészedény-kísérletben a tavaszi árpa P-tartalma ezen a talajon, ezekben a P-kezelésekben szintén 1% feletti volt (CSATHÓ, szóbeli közlés)

A különböző tulajdonságú (P-oldékonyság, fajlagos felület, $CaCO_3$ -tartalom) nyersfoszfátok eltérő módon befolyásolták a vörös here P-felvételét mindkét talajon (7. táblázat, 2A. és 2C. ábra). Így a P-adagok átlagában a nyersfoszfátok közül mind a savanyú homoktalajon (Nyírlugos), mind a savanyú agyagos vályogtalajon (Ragály) a jól oldódó algériai és é-karolinai nyersfoszfát növelte a legnagyobb mértékben a növények P-felvételét (Nyírlugos = 39,0 és 40,3 mg P-edény⁻¹, Ragály = 47,1 és 42,2 mg P-edény⁻¹). A nyírlugosi talajon a P-adagok átlagában az algériai és é-karolinai nyersfoszfát hatása közel azonos volt a szuperfoszfátéval. A legkisebb P-

6. táblázat

A P-források és -adagok hatása a vörös here 1., 2. és 3. növedékének P-tartalmára (P%) a ragályi talajjal beállított tenyészedény-kísérletben

(1) P-adag, összes P ₂ O ₅ , mg·kg ⁻¹	(2) P-forrás											
	(3) Nyersfoszfát						(4) SzD _{5%}	(5) Nyers-foszfát átlag	(6) Szuperfoszfát (SSP)	(7) SSP+kalcium- karbonát	(4) SzD _{5%}	(8) P-forrás átlag
	algériai	floridai	észak-karolinai	senegáli	marokkói	Hyperfoszfát						
1. növedék												
NK	0,12	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12	0,02	0,11	0,11	0,12	0,02	0,11
100	0,22	0,17	0,20	0,16	0,20	0,20		0,19	0,22	0,22		0,20
400	0,29	0,22	0,26	0,17	0,24	0,23		0,24	0,38	0,30		0,26
1600	0,34	0,28	0,31	0,24	0,34	0,24		0,29	0,65	0,58		0,37
SzD _{5%}	0,02							0,01		0,02		0,01
átlag	0,24	0,20	0,22	0,17	0,22	0,20	0,01	0,21	0,34	0,30	0,01	0,24
2. növedék												
NK	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,03	0,11	0,10	0,15	0,03	0,12
100	0,21	0,16	0,23	0,13	0,23	0,20		0,19	0,23	0,24		0,20
400	0,26	0,24	0,29	0,18	0,28	0,26		0,25	0,34	0,27		0,26
1600	0,30	0,31	0,32	0,25	0,31	0,30		0,30	0,64	0,51		0,37
SzD _{5%}	0,03							0,01		0,03		0,01
átlag	0,22	0,21	0,24	0,17	0,23	0,22	0,01	0,21	0,33	0,29	0,01	0,24
3. növedék												
NK	0,16	0,14	0,16	0,16	0,16	0,17	0,03	0,16	0,16	0,19	0,03	0,16
100	0,25	0,24	0,28	0,19	0,26	0,25		0,25	0,23	0,23		0,24
400	0,31	0,29	0,32	0,24	0,30	0,29		0,29	0,34	0,29		0,30
1600	0,39	0,35	0,36	0,36	0,30	0,36		0,35	0,65	0,55		0,41
SzD _{5%}	0,03							0,01		0,03		0,01
átlag	0,28	0,26	0,28	0,23	0,25	0,27	0,02	0,26	0,35	0,31	0,01	0,28

felvételt (Nyírlugos = 13,1, ill. Ragály=21,5 mg P-edény⁻¹) a vörös here termésénél tapasztaltakhoz hasonlóan a senegáli nyersfoszfátnál kaptuk.

A standardként alkalmazott vízőldható szuperfoszfát hatására a P-adagok átlagában a vörös here P-felvétele a nyírlugosi talajon 50%-kal volt nagyobb a nyersfoszfát-féleségek átlagánál, a ragályi talajon ennél nagyobb, közel kétszerese volt. A meszezés önmagában az NK-kontrollok esetében a vörös here átlagos P-felvételét a nyírlugosi és a ragályi talajon is több mint kétszeresére növelte. A P-adagok átlagában a szuperfoszfát + kalcium-karbonát kezelés a nyírlugosi talajon a P-formák közötti legnagyobb P-felvételt eredményezte, a ragályi talajon viszont azonos volt a szuperfoszfát hatásával.

7. táblázat

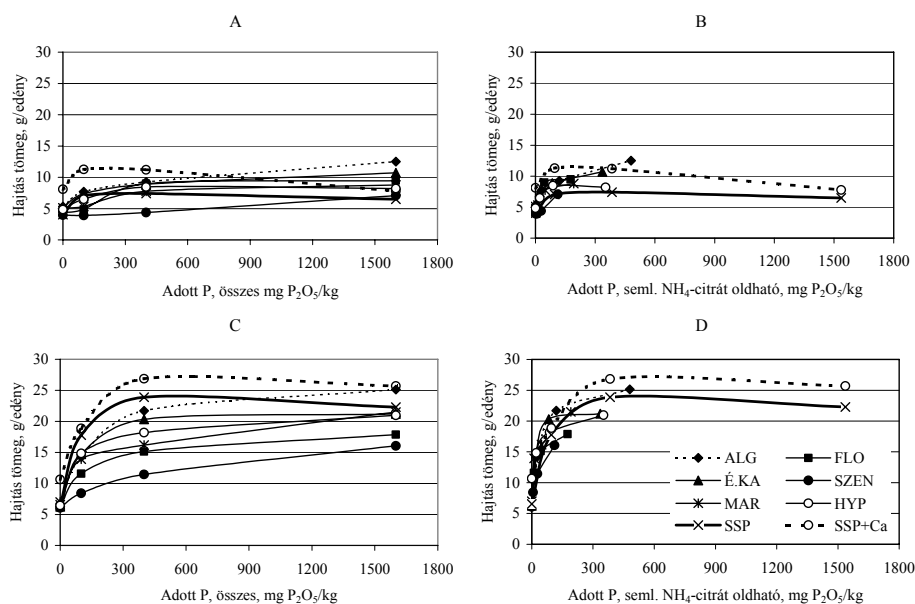
A P-források és -adagok hatása a vörös here kumulált P-felvételére ($\Sigma 1.+2.+3.$ növedék) (mg P-edény⁻¹) a nyírlugosi és ragályi talajon beállított tenyészedény-kísérletben

(1) P-adag, összes P ₂ O ₅ , mg·kg ⁻¹	(2) P-forrás											
	(3) Nyersfoszfát						(4) SzD _{5%}	(5) Nyers-foszfát átlag	(6) Szuperfoszfát (SSP)	(7) SSP+kalcium- karbonát	(4) SzD _{5%}	(8) P-forrás átlag
	algériai	floridai	észak-karolinai	senegáli	marokkói	Hyperfoszfát						
Nyírlugosi talaj, $\sum 1.+2.+3.$ növedék												
NK	11,2	9,2	10,8	7,8	10,8	9,5	6,7	9,9	8,2	19,8	11,7	10,9
100	24,7	12,0	24,4	8,6	16,5	18,4		17,4	25,9	35,1		20,7
400	49,8	33,0	50,5	11,3	36,4	36,9		36,3	69,7	69,0		44,6
1600	70,3	56,4	75,6	24,6	53,8	28,0		51,4	72,9	84,8		58,3
SzD _{5%}	6,7							2,7	11,7			4,1
átlag	39,0	27,7	40,3	13,1	29,4	23,2	3,3	28,8	44,2	52,2	5,8	33,6
Ragályi talaj, $\sum 1.+2.+3.$ növedék												
NK	8,5	7,2	7,3	6,8	8,4	8,3	10,3	7,8	7,6	16,8	11,0	8,9
100	32,4	21,2	34,6	13,1	31,4	32,3		27,5	39,3	43,3		30,9
400	62,4	37,6	58,1	21,2	43,8	46,7		45,0	84,4	77,2		53,9
1600	85,3	54,1	68,9	44,9	68,5	61,3		63,8	144,4	140,6		83,5
SzD _{5%}	10,3							4,2	11,0			3,9
átlag	47,1	30,0	42,2	21,5	38,0	37,2	5,1	36,0	68,9	69,4	5,5	44,3

A nyersfoszfátok oldhatósága és a vörös here termése (az 1., 2. és 3. növedék összege), valamint az oldhatóság és a vörös here P-felvétele közötti összefüggés

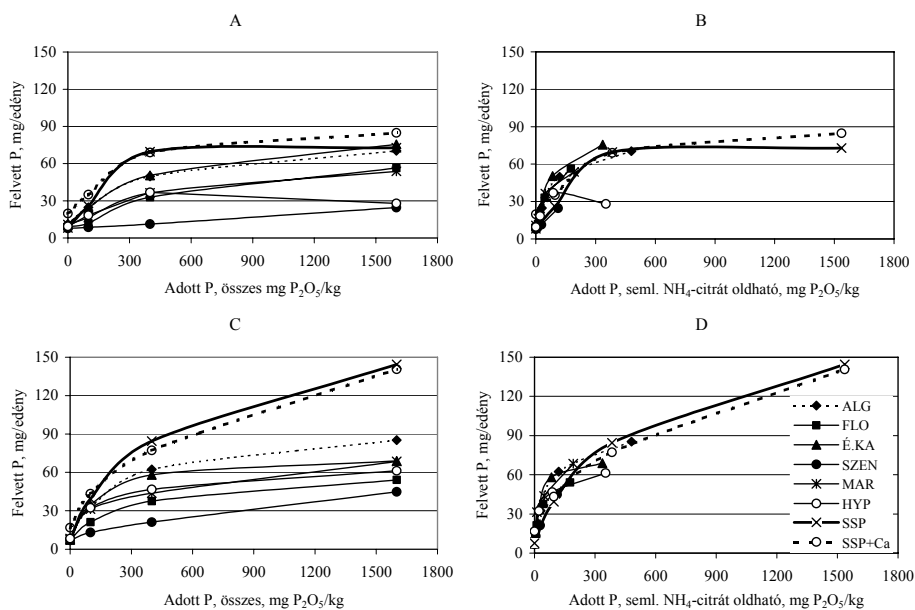
A nyersfoszfátadagok és a vörös here termése, valamint az adag és a vörös here P-felvétele között mindkét talajon a leggyengébb korrelációt akkor kaptuk, ha a nyersfoszfátadagok foszfortartalmát az összes-P-tartalommal (100–400–1600 mg P₂O₅·kg⁻¹) jellemeztük (8. táblázat, 1A., 1C. és 2A., 2C. ábra). Az összefüggések szorossága nőtt, ha nem a nyersfoszfátadagok összes-P-tartalmát, hanem annak a 2%-os hangyasavban, 2%-os citromsavban vagy semleges ammónium-citrátban oldható mennyiségét vettük figyelembe (8. táblázat). A ragályi talajon minden kivonószertől szorosabb korrelációt kaptunk a nyírlugosi talajénál. Mindkét talajon a legszorosabb korrelációt a semleges ammónium-citrát oldható P-frakció figyelembevételével kaptuk (1B., 1D. és 2B., 2D. ábra). Ez azt jelenti, hogy a semleges ammónium-citrát volt a legjobb oldószer a vizsgált nyersfoszfátok közötti P-oldhatósági sorrend megállapításához.

Hasonló eredményt kaptak ENGELSTAD és munkatársai (1974), LÉON és munkatársai (1986), valamint ZAHARAH és SHARIFUDDIN (2002) is. CARO és HILL (1956) viszont a 2%-os citromsavban, CHIEN és HAMMOND (1978), MACKAY és munkatársai (1984), valamint RAJAN és munkatársai (1992) a 2%-os hangyasavban mért



1. ábra

Összefüggés a kijuttatott foszfor mennyisége (összes, ill. semleges NH_4 -citrát oldható frakció) és a vöröshere-hajtás légszáraz tömege között a nyírlugosi (A,B) és a ragályi (C, D) talajon



2. ábra

Összefüggés a kijuttatott foszfor mennyisége (összes, ill. semleges NH_4 -citrát oldható frakció) és a vöröshere P-felvétele között a nyírlugosi (A,B) és a ragályi (C, D) talajon

8. táblázat

Összefüggés a vizsgált hat nyersfoszfát oldhatósága (az egységnyi nyersfoszfát P-tartalmára vonatkoztatva) és a vörös here termése ($y = a \ln x + b$) (A), valamint az oldhatóság és a vörös here P-felvétele között ($y = a \ln x - b$) (B), ($n = 18$)

(1) Nyersfoszfát frakció, P ₂ O ₅ , %	r ²	
	(2) Savanyú homoktalaj (Nyírlugos)	(3) Savanyú agyagos vályog- talaj (Ragály)
<i>A = Összefüggések a terméssel</i>		
a) (65% HNO ₃ + 30% H ₂ O ₂) oldható	0,4424	0,5267
b) 2%-os citromsav oldható	0,5477	0,6800
c) 2%-os hangyasav oldható	0,6017	0,7671
d) semleges NH ₄ ⁺ -citrát oldható	0,7324	0,8343
<i>B = Összefüggések a felvett foszforral</i>		
a) (65% HNO ₃ + 30% H ₂ O ₂) oldható	0,5016	0,6237
b) 2%-os citromsav oldható	0,5901	0,7541
c) 2%-os hangyasav oldható	0,6413	0,8291
d) semleges NH ₄ ⁺ -citrát oldható	0,6978	0,8779

nyersfoszfát-P oldhatósággal találtak jobb korrelációt kísérletükben, mint a többi oldószer esetén.

A nyersfoszfát relatív agronómiai hatékonysága

Amikor a nyersfoszfátot, mint savanyú talajokon közvetlenül alkalmazható P-trágyát, agronómiai hatása szempontjából minősítik, általában egy standard, általánosan használt, vízóldható P-trágya, például a szuperfoszfát (SSP) hatásához viszonyítják. A minősítés alapjaként szolgáló paraméter lehet a vörös here terméshezama, vagy P-felvétele.

Relatív agronómiai hatékonyság (RAE):

$$(RAE)(\%) = \left(\frac{X_1 - X_0}{X_2 - X_0} \right) \cdot 100$$

ahol:

X₁ = a vörös here terméshezama, vagy P-felvétele egy adott nyersfoszfátkezelésnél;

X₂ = a vörös here terméshezama, vagy P-felvétele a nyersfoszfátéval megegyező adagú szuperfoszfát-kezelésnél;

X₀ = a vörös here terméshezama, vagy P-felvétele P-trágyázás nélkül (NK-kontroll).

A nyírlugosi és a ragályi talajon igen eltérő relatív agronómiai hatékonyságot kaptunk a nyersfoszfát-féleségek és -adagok átlagára, ha a vörös here termése alapján számoltunk (147, ill. 70), viszont közel azonos hatékonyságot (53, ill. 51), ha a P-felvételt vettük figyelembe (9. táblázat). Az igen savanyú nyírlugosi talajon a nyersfoszfátoknak ez az átlagosan nagy relatív hatékonysága a nyersfoszfátok tényleges hatásosságán túl, a nagyobb adagú szuperfoszfát hatására bekövetkező ter-

9. táblázat
A nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonysága (RAE) a termés és a felvett P alapján a
nyírlugosi és ragályi talajjal beállított tenyészedény-kísérletben

(1) P-forrás	Nyírlugos					Ragály							
	(2) Termés alapján		(3) Felvett P alapján			(2) Termés alapján		(3) Felvett P alapján					
	(4) P-adag, összes, mg P ₂ O ₅ ·kg ⁻¹					(4) P-adag, összes, mg P ₂ O ₅ ·kg ⁻¹							
	100	400	1600	(5) átlag		100	400	1600	(5) átlag				
algériai nyersfoszfát	128	168	436	244	93	71	87	118	92	78	71	57	69
floridai nyersfoszfát	7	158	267	144	15	46	50	72	56	43	39	34	39
é-karolinai nyers- foszfát	115	155	336	202	91	75	80	93	82	85	65	45	65
szenegáli nyersfoszfát	–	–	133	29	–	18	29	61	36	17	18	27	21
marokkói nyersfoszfát	27	113	229	123	42	68	56	95	73	75	47	44	56
Hyperfoszfát	76	139	196	137	54	76	67	92	78	78	51	39	56
a) Nyersfoszfát átlag	53	120	266	147	48	59	61	88	70	63	48	41	51
b) Szuperfoszfát (SSP)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
c) SSP+kalcium-kar- bonát	280	239	173	231	158	110	117	117	115	114	91	98	101

Megjegyzés: – : az adott nyersfoszfátkezelésben a vörös here termése, ill. P-felvétele kisebb volt az NK-kontrollok átlagánál

mécsnövekedéssel is magyarázható. A 100 mg (összes) $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ adag hatását vizsgálva – ahol a szuperfoszfátnál még nem lépett fel a termésben csökkenés – az algériai és é-karolinai nyersfoszfát hatékonyabb volt (128%, 115%) a szuperfoszfátnál, és a hyperfoszfát is 76%-ot mutatott. A ragályi talajon a P-adagok átlagában az algériai nyersfoszfát mutatta a legnagyobb (92%) relatív agronómiai hatékonyságot. Az é-karolinai nyersfoszfát, a hyperfoszfát és a marokkói nyersfoszfát kisebb, 82%, 78%, ill. 73%-os hatékonyságú volt.

A P-felvétel alapján számított RAE szerint a nyírlugosi talajon közel azonos hatékonysággal a legjobb az algériai és az é-karolinai nyersfoszfát (85%, 87%), a ragályi talajon szintén ez a két nyersfoszfát a legjobb, de alacsonyabb hatékonysággal (69%, 65%). Mindkét talajon, mindkét paraméter alapján a szenegáli nyersfoszfát volt a legkevésbé hatékony (9. táblázat). A ragályi talajon a nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonyságának sorrendje (akár a vörös here tömege, akár P-felvétele alapján számítva) megegyezik a nyersfoszfátok semleges ammónium-citrátban mért oldhatósági sorrendjével (2. táblázat).

A szuperfoszfát és meszezés kezelés (SSP + kalcium-karbonát) – a korábban elmondottaknak megfelelően – a nyírlugosi talajon sokkal hatékonyabb volt, mint a ragályi talajon.

Összefoglalás

Tenyészedény-kísérletben savanyú homoktalajon (Nyírlugos) és savanyú agyagos vályogtalajon (Ragály) hat nyersfoszfát (algériai, floridai, é-karolinai, szenegáli, marokkói nyersfoszfát és hyperfoszfát) hatását vizsgáltuk a vörös here termésére, P-tartalmára és P-felvételére. Standard P-forrásként szuperfoszfátot (SSP) alkalmaztunk. Külön kezelésben a szuperfoszfát mellett adagolt kalcium-karbonát hatását is tanulmányoztuk.

A nyersfoszfát-féleségek és a P-adagok átlagában a kolloidszegény savanyú homoktalaj vörös here termésének ($7,04 \text{ g-edény}^{-1}$) kétszeresét takarítottuk be a nagyobb kolloidtartalmú savanyú agyagos vályog talajon ($14,26 \text{ g-edény}^{-1}$). A P-felvétel viszont az agyagos vályogtalajon a kísérlet átlagában csak 20%-kal volt nagyobb ($36,0 \text{ mg P-edény}^{-1}$), mint a homoktalajon ($28,8 \text{ mg P-edény}^{-1}$).

A nyersfoszfát-féleségek függvényében, mindkét talajon, a hatóanyag-azonosság elvén beállított 0–100–400–1600 mg (összes) $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ adagok eltérő P-hatásokat eredményeztek. A hozamtöbbletekben és P-felvételben megnyilvánuló P-hatás különbségek szoros összefüggést mutattak az egyes nyersfoszfátok P-oldékonyságában megnyilvánuló különbségekkel. Így mindkét talajon a kiváló természetes oldékonyságú algériai és é-karolinai nyersfoszfáttal történő kezelés eredményezte a legnagyobb terméstöbbleteket és P-felvételt. A másik végletet a kis fajlagos felülettel, alacsony P-oldhatósággal, kis $CaCO_3$ -tartalommal rendelkező szenegáli nyersfoszfáttal való kezelés jelentette. A nyersfoszfátok P-oldhatóságában meglévő különbségeket számszerűen a relatív agronómiai hatékonysággal (RAE) is kifejezhetjük, amikor a nyersfoszfát hatását a termésre, ill. a P-felvételre egy vízdoldható P-műtrágya – kísérletünkben szuperfoszfát – hatásához viszonyítjuk. Mindkét talajon mindkét paraméter alapján a legnagyobb relatív agronómiai haté-

konyságú az algériai és az é-karolinai nyersfoszfát, a legkisebb a szenegáli nyersfoszfát volt. A ragályi talajon a nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonyságának sorrendje (akár a vörös here tömege, akár P-felvétele alapján számítva) megegyezik a nyersfoszfátok semleges ammónium-citrátban mért oldhatósági sorrendjével.

A nyersfoszfát oldhatósága és a vörös here termése, valamint P-felvétele közötti összefüggést vizsgálva mindkét talajon a leglazább összefüggést akkor kaptuk, ha az adott P-adagokat az összes-P-tartalom alapján adtuk meg, a legszorosabbat pedig a nyersfoszfátok P-tartalmának semleges ammónium-citrátban történő oldhatóságának figyelembe vételekor. Ez, valamint a nyersfoszfátok relatív agronómiai hatékonysági sorrendje azt jelenti, hogy a semleges ammónium-citrát volt a legjobb kivonószer a vizsgált nyersfoszfátok közötti P-oldhatósági sorrend megállapítására.

Az egyes nyersfoszfátok hatását külön-külön vizsgálva a vörös here P-felvételére megállapítható, hogy a P-hatás különbségek mindkét talajon szoros összefüggést mutattak az egyes nyersfoszfátok tulajdonságaiban (P-oldékonyság, fajlagos felület, CaCO_3 -tartalom) meglévő különbségekkel.

Kulcsszavak: nyersfoszfát, P-oldhatósági sor, savanyú talaj, vörös here, relatív agronómiai hatékonyság (RAE)

A dolgozat a T038046 sz. OTKA pályázat támogatásával készült.

Irodalom

- BRAITHWAITE, A. C., EATON, A. C. & GROOM, P. S., 1990. Factors affecting the solubility of phosphate rock residues in 2% citric acid and 2% formic acid. *Fert. Res.* **23**, 37–42.
- BUZÁS I. (szerk.), 1988. Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- CARO, J. H. & HILL, W. L., 1956. Characteristics and fertilizer value of phosphate rock from different fields. *J. Agric. Food Chem.* **4**, 684–687.
- CHIEN, S. H., 1993. Solubility assessment for fertilizer containing phosphate rock. *Fert. Res.* **35**, 93–99.
- CHIEN, S. H., & HAMMOND, L. L., 1978. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **42**, 935–939.
- ENGELSTAD, O. P., JUGSUJINDA, A. & DE DATTA, S. K., 1974. Response by flooded rice to phosphate rocks varying in citrate solubility. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **38**, 524–529.
- FILEP GY., 1999. Talajtani alapismeretek. II. Talajrendszertan és alkalmazott talajtan. Debreceni Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar, Debrecen.
- GREGG, S. J. & SING, K. S. W., 1982. Adsorption, Surface Area and Porosity. 2nd ed. Academic Press. London.
- HAMMOND, L. L., CHIEN, S. H. & MOKWUNYE, A. U., 1986. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Adv. Agron.* **40**, 89–140.

- KHASAWNEH, F. E. & DOLL, E. C., 1978. The use of phosphate rock for direct application. *Adv. Agron.* **30**. 159–206.
- KUCEY, R. & BOLE, J., 1984. Availability of phosphorus from 17 rock phosphates in moderately and weakly acidic soils as determined by ^{32}P dilution, E value, and total P uptake methods. *Soil Sci.* **138**. 180–188.
- LÉON, L. A., FENSTER, W. E. & HAMMOND, L. L., 1986. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Peru, and Venezuela. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **50**. 798–802.
- MACKAY, A. D., SYERS, J. K. & GREGG, P. E. H., 1984. Ability of chemical extraction procedures to assess the agronomic effectiveness of phosphate rock materials. *N. Z. J. Agric. Res.* **27**. 219–230.
- MSz 7240-86 Műtrágyák foszfortartalmának meghatározási módszerei. Magyar Népköztársaság Országos Szabvány.
- NÉMETH, T. et al., 2002. Long-term field evaluation of phosphate rock and superphosphate use strategies in acid soils of Hungary: Two comparative field trials. *Nutrient Cyclings in Agro-Ecosystems*. **63**. 81–89.
- Official Journal of the European Communities, 1977. No. L 213/5. Annex II., 22. 08.77. Methods for the Analysis of Fertilizers. 62–77.
- OLSEN, S. R. et al., 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. US Dept. Agric. Circular No. 939. Washington, D. C.
- OSZTOICS A.-NÉ, CSATHÓ P. & NÉMETH T., 1997. Az algériai nyersfoszfát és a szuperfoszfát hatásának vizsgálata. I. A foszfortrágyák összehasonlító vizsgálata a tavaszi árpa termésére és foszfortartalmára tenyészedény-kísérletben különböző talajokon. *Agrokémia és Talajtan*. **46**. 289–310.
- OSZTOICS A.-NÉ et al., 2001. Az algériai nyersfoszfát és a szuperfoszfát hatásának vizsgálata. II. A foszfortrágyák hatása a vörös here termésére és foszfortartalmára tenyészedény-kísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. **50**. 247–266.
- OSZTOICS E. et al., 2005. Nyersfoszfátok agronómiai hatékonyságának vizsgálata tenyészedény-kísérletben. I. A nyersfoszfátok laboratóriumi értékelése. *Agrokémia és Talajtan*. **54**. 341–358.
- OSZTOICS, E. et al., 2006. The effect of five phosphate rocks on red clover shoot yield in pot trial. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **37**. 2713–2724.
- RAJAN, S. S. S., WATKINSON, J. H. & SINCLAIR, A. G., 1996. Phosphate rocks for direct application to soils. *Adv. Agron.* **57**. 77–159.
- RAJAN, S. S. S. et al., 1992. Extractable phosphorus to predict agronomic effectiveness of ground and unground phosphate rocks. *Fert. Res.* **32**. 291–302.
- SARKADI, J., 1982. Opredelnie „vodorasztvorimogo” foszfora. In: *Agrochemische Methoden für die Untersuchung des Phosphathaushaltes der Böden: Methodensammlung. Ak. der Landw. DDR. IPE Jena* 1–13.
- WATKINSON, J. H., 1994. A test for phosphate rock reactivity in which solubility and size are combined in a dissolution rate function. *Fert. Res.* **39**. 205–215.
- ZAHARAH, A. R. & SHARIFUDDIN, H. A. H., 2002. Phosphorus availability in acid tropical soil amended with phosphate rocks. In: *Assessment of Soil Phosphorus Status and Management of Phosphatic Fertilisers to Optimise Crop Production. IAEA-TEDOC-1272*. 294–302.

Érkezett: 2006. szeptember 4.

**Pot Experiments on the Agronomic Efficiency of Rock Phosphates.
II. Correlations between the Solubility of Rock Phosphates and the Yield
and P Uptake of Red Clover**

E. OSZTOICS, P. CSATHÓ, J. CSILLAG, L. RADIMSZKY, G. BACZÓ, K. RAJKAI-VÉGH,
T. TAKÁCS, M. MAGYAR and A. LUKÁCS

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the
Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

The effect of six types of rock phosphate (rock phosphate from Algeria, Florida, N. Carolina, Senegal and Morocco, and hyperphosphate) was investigated on the yield, P content and P uptake of red clover grown in a pot experiment on acidic sandy soil (Nyírlugos) and acidic clay loam soil (Ragály). Superphosphate (SSP) was used as the standard P source. The influence of calcium carbonate added with superphosphate was studied in a separate treatment.

Averaged over the rock phosphate types and the P rates the yield of red clover was twice as high ($14.26 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$) on acidic clay loam soil, which had a higher colloid content, than on colloid-poor acidic sandy soil ($7.04 \text{ g} \cdot \text{pot}^{-1}$), despite the fact that the P uptake was only 20% higher on the clay loam ($36.0 \text{ mg} \cdot \text{pot}^{-1}$) than on the sandy soil ($28.8 \text{ mg} \cdot \text{pot}^{-1}$), averaged over the whole experiment.

Depending on the origin of the rock phosphate, various P_2O_5 rates (0–100–400–1600 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), adjusted on the active ingredient equivalence principle, resulted in differing P responses on both soils. Differences in the P responses expressed as yield surpluses or P uptake exhibited a close correlation with differences in the P solubility of the various types of rock phosphate. On both soils treatment with rock phosphate from Algeria and N. Carolina, which have excellent natural solubility, led to the highest yield surpluses and P uptake. The other extreme was the rock phosphate from Senegal, which had a small specific surface area, poor P solubility and low calcium carbonate content. The differences in P solubility between the rock phosphates can also be expressed in terms of relative agronomic efficiency (RAE), by comparing the effect of the rock phosphate on yield or P uptake with that of a water-soluble P fertilizer (in the present case superphosphate). On both soils both parameters indicated that the rock phosphates from Algeria and N. Carolina had the greatest RAE and the Senegal rock phosphate the lowest. On the Ragály soil the ranking of the rock phosphates according to RAE (based on either red clover biomass or P uptake) was the same as that based on their solubility in neutral ammonium citrate.

An analysis of the correlation between rock phosphate solubility and the yield and P uptake of red clover revealed that the loosest correlation was observed on both soils if the P rates applied were given in terms of total P content and the closest when the solubility of the rock phosphate P content in neutral ammonium citrate was considered. This finding, together with the RAE ranking of the rock phosphates, indicates that neutral ammonium citrate was the best extractant for the determination of the P solubility rankings of the rock phosphates tested.

When the effects of the rock phosphates on the P uptake of red clover were examined separately it was found that on both soils the differences in the P responses exhibited a close correlation with differences in the properties (P solubility, specific surface area, calcium carbonate content) of the rock phosphates.

Table 1. Physical and chemical properties of the soils used in the pot experiment. (1) Properties. a) clay+silt (<0.02 mm), %; b) "total" P; c) water-soluble P; d) T-value; e) exchangeable Ca, Mg; f) hydrolytic acidity (y_1); g) exchangeable acidity; h) humus. (2) Acidic sandy soil, Nyírlugos. (3) Acidic clay loam soil, Ragály.

Table 2. Properties of the rock phosphates (<160 μm) used in the pot experiment, and the solubility of their P contents. (1) Origin of the rock phosphate. (2) Specific surface area. (3) Total P_2O_5 . (4) Solubility, P_2O_5 %. (5) In 2% formic acid. (6) In 2% citric acid. (7) In neutral NH_4^+ -citrate. Note: A: in terms of unit rock phosphate mass; B. in terms of the total P_2O_5 content of unit rock phosphate mass.

Table 3. Correlations between the specific surface area of the rock phosphates and the P_2O_5 content measured using various extractants (I) and between the P_2O_5 contents measured using various extractants (II). (1) P_2O_5 solubility of the rock phosphate, %. a) soluble in 2% formic acid; b) soluble in 2% citric acid; c) soluble in neutral NH_4^+ -citrate. (2) Specific surface area. (3) Soluble in 2% formic acid. (4) Soluble in 2% citric acid. A and B: see Table 2.

Table 4. Effect of P sources and rates on the yield of red clover in a pot experiment on acidic sandy soil (Nyírlugos) and acidic clay loam soil (Ragály), $\text{g}\cdot\text{pot}^{-1}$. (1) P rate. a) $\text{LSD}_{5\%}$; b) Mean. (2) P sources. (3) Rock phosphate. (4) $\text{LSD}_{5\%}$. (5) Averaged over the rock phosphates. (6) Superphosphate. (7) Superphosphate+calcium carbonate. (8) Averaged over P sources.

Table 5. Effect of P sources and rates on the P content (P%) of the 1st, 2nd and 3rd cuts of red clover in the pot experiment set up on Nyírlugos soil. (1)–(7): see Table 4.

Table 6. Effect of P sources and rates on the P content (P%) of the 1st, 2nd and 3rd cuts of red clover in the pot experiment set up on Ragály soil. (1)–(7): see Table 4.

Table 7. Effect of P sources and rates on the cumulative P uptake ($\Sigma 1^{\text{st}}+2^{\text{nd}}+3^{\text{rd}}$ cuts) of red clover on the Nyírlugos and Ragály soils. (1)–(7): see Table 4.

Table 8. Correlation between the solubility of the six rock phosphates (in terms of unit rock phosphate P content) and the yield of red clover ($y = a \ln x + b$) (A) and between solubility and the P uptake of red clover ($y = a \ln x - b$) (B) ($n = 18$). (1) Rock phosphate fraction, P_2O_5 %. a) soluble in 65% $\text{HNO}_3 + 30\% \text{H}_2\text{O}_2$; b) soluble in 2% citric acid; c) soluble in 2% formic acid; d) soluble in neutral NH_4^+ -citrate. (2) Acidic sandy soil (Nyírlugos). (3) Acidic clay loam soil (Ragály).

Table 9. Relative agronomic efficiency (RAE) of the rock phosphates on the basis of yield and P uptake. (1) P source. a) Rock phosphate mean; b) Superphosphate; c) Superphosphate + CaCO_3 . (2) On the basis of yield. (3) On the basis of P uptake. (4) P dose (total) $\text{P}_2\text{O}_5\cdot\text{kg}^{-1}$. (5) Mean.

Fig. 1. Correlation between the quantity of P applied (total, or fraction soluble in neutral ammonium citrate) and the air-dry mass of red clover shoots on the Nyírlugos (Fig. 1A, 1B) and Ragály (Fig. 1C, 1D) soils.

Fig. 2. Correlation between the quantity of P applied (total, or fraction soluble in neutral ammonium citrate) and the P uptake of red clover on the Nyírlugos (Fig. 2A, 2B) and Ragály (Fig. 2C, 2D) soils.